

УДК 69.022

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ КЛАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

канд. техн. наук В.Н. ДЕРКАЧ, А.В. ГАЛАЛЮК
(Филиал Республиканского унитарного предприятия
«Институт БелНИИС» Научно-технический центр, Брест)

Статья содержит результаты экспериментального определения кратковременного и начального модуля упругости каменной кладки из керамического и силикатного кирпича при различных прочностных показателях кладочного раствора. Для определения значений кратковременного модуля упругости каменной кладки и численных значений коэффициента были выполнены экспериментальные исследования образцов кладки, изготовленных из отечественных кладочных элементов на растворе общего назначения. Даны предложения по аналитическому расчету кратковременного модуля упругости, для включения в национальное приложение к СТБ EN 1996-1-1-2008.

Введение. В соответствии со СНиП II-22-81 [1] модуль упругости (начальный модуль деформаций) кладки E_0 при кратковременной нагрузке для неармированной кладки определяется по формуле (1):

$$E_0 = \alpha R_u, \quad (1)$$

где α – упругая характеристика кладки, которая зависит от вида кладочных элементов, вида и прочностных показателей кладочного раствора; R_u – временный предел прочности каменной кладки при сжатии.

Начальный модуль деформаций равен тангенсу угла наклона касательной к кривой зависимости « $\sigma - \varepsilon$ » в точке, соответствующей $\sigma = 0$.

Согласно Еврокоду 6 [2] кратковременный модуль упругости E не армированной каменной кладки является секущим модулем и определяется в процессе испытаний в соответствии с EN 1052-1 [3]. Величина кратковременного модуля равна тангенсу угла наклона секущей, проходящей через точки кривой, соответствующие ординатам $\sigma = 0$ и $\sigma = 0,33f$ (рис. 1).

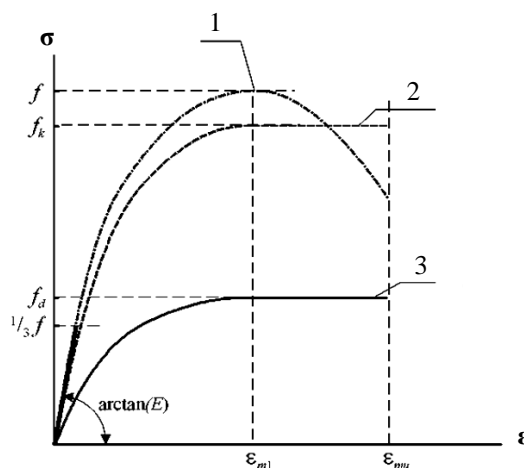


Рис. 1. Диаграмма деформирования (состояния) каменной кладки при осевом кратковременном сжатии по [2]:

- 1 – фактическая (типичная) диаграмма;
- 2 – идеализированная диаграмма (параболически-линейная);
- 3 – расчетная диаграмма (параболически-линейная)

При отсутствии результатов испытаний, полученных в соответствии с [3], для кратковременного модуля упругости E каменной кладки при определении деформаций стен (при расчете усилий среза в разнозагруженных стенах) его допускается определять по зависимости (2):

$$E = K_E f_k. \quad (2)$$

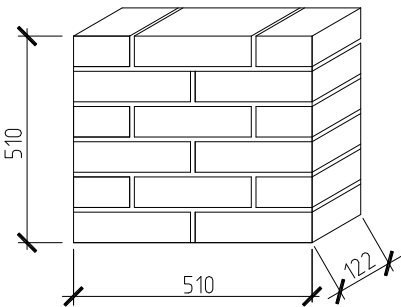
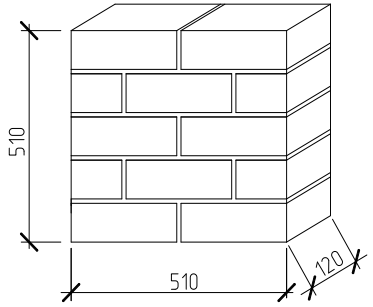
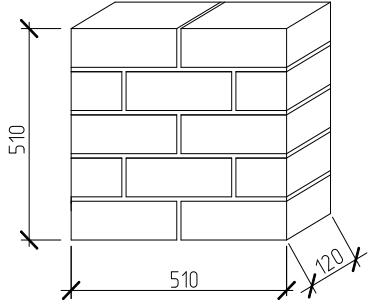
Числовые значения для коэффициента K_E устанавливаются в национальном приложении к [2]. Рекомендуемое [2] значение $K_E = 1000$. При этом в [2], в отличие от норм [1], не делается различие в коэффициентах K_E в зависимости от вида кладочных элементов и прочности раствора.

Для определения значений кратковременного модуля упругости каменной кладки и численных значений коэффициента K_E были выполнены экспериментальные исследования образцов кладки, изготовленных из отечественных кладочных элементов на растворе общего назначения.

Методика проведения испытаний. Определение прочностных и деформационных характеристик каменной кладки производилось на образцах, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики опытных образцов кладки

Серия	№ образца	Форма и размеры образца (мм)	Нормализованная прочность кирпича f_b (МПа)	Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	
Образцы кладки из полнотелого керамического кирпича КРО-150/25					
КРО-1	1		44,1	10,9	
	2				
	3				
	4				
КРО-2	1		44,1	7,9	
	2				
	3				
КРО-3	1		44,1	3,1	
	2				
	3				
Образцы кладки из пустотелого керамического кирпича КРПУ-125/35					
КРПУ-1	1			18,38	10,9
	2				
	3				
	4				
КРПУ-2	1	18,38		7,9	
	2				
	3				
КРПУ-3	1	18,38		3,1	
	2				
	3				
Образцы кладки из силикатного кирпича СУР 150/35					
СУР-1	1			22,75	10,9
	2				
	3				
СУР-2	1		22,75	7,9	
	2				
	3				
	4				
СУР-3	1		22,75	3,1	
	2				
	3				

Всего было испытано девять серий образцов каменной кладки. Каждая серия включала в себя 3 – 4 образца. В процессе исследований варьировались вид и прочность кладочного элемента, прочность кладочного раствора. Согласно требованиям [2], по своим геометрическим характеристикам кирпич, из которого готовились образцы каменной кладки, относился к I группе кладочных элементов.

Для приготовления кладочных растворов использовалась сухая растворная смесь № 111/11 М100 по СТБ1307-2002 производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей.

Прочность при сжатии кирпича и раствора устанавливалась в соответствии с требованиями EN 771-2 [4] и EN 1015-11[3] соответственно. Испытания каменной кладки выполнялись согласно [3].

Нагружение опытных образцов производилось при помощи гидравлического пресса П-125 (рис. 1). Установленные в прессе образцы центрировались таким образом, чтобы показания по индикаторам перемещений, расположенных на противоположных гранях образца, отличались не более чем на 20 %. Усилие возрастало равномерно, при этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы достичь разрушения образца в пределах 15 – 30 минут от начала приложения нагрузки.

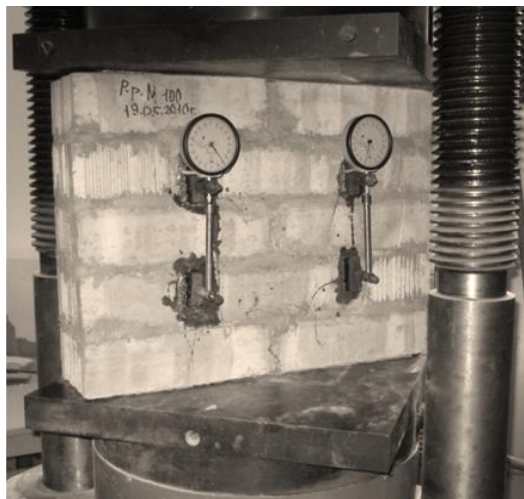


Рис. 2. Образец каменной кладки в испытательной установке

В процессе испытаний регистрировались:

- размеры поперечного сечения испытываемых образцов с точностью до ± 1 мм;
- нагрузка, при которой происходит разрушение образца;
- время от начала приложения нагрузки до достижения ее максимального значения.

Прочность при сжатии отдельного испытываемого образца кладки рассчитывалась с точностью до $0,1 \text{ Н/мм}^2$ по формуле (3):

$$f_i = \frac{F_{i,\max}}{A_i}, \quad (3)$$

где $F_{i,\max}$ – максимальная нагрузка воспринимаемая образцом каменной кладки; A_i – площадь поперечного сечения образца.

Характеристическая прочность f_k устанавливалась по формуле (4):

$$f_k = \frac{f_{\text{obs},\text{mv}}}{1,2}, \text{ или } f_k = f_{\text{obs},\text{min}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{obs},\text{mv}}$ – средняя прочность при сжатии кладки, полученная на основании испытания опытных образцов; $f_{\text{obs},\text{min}}$ – минимальная прочность каменной кладки при сжатии, полученная на основании испытания опытных образцов.

За нормативную прочность кладки принималось меньшее из двух значений.

Для определения кратковременного модуля упругости каменной кладки измерялись ее относительные деформации с помощью индикаторов перемещений часового типа, установленных в средней трети высоты образца. Измерения производились с точностью $\pm 26 \cdot 10^{-6}$ до достижения 50 % значения максимальной нагрузки.

Модуль упругости E_i определялся как секущий модуль при среднем значении относительной деформации измеренной в четырех точках ϵ_i и нагрузке, равной одной трети разрушающей нагрузки $F_{i,\max}$ (5).

$$E_i = \frac{F_{i,\max}}{3 \cdot \epsilon_i \cdot A_i}. \quad (5)$$

Результаты испытаний. В таблице 2 приведены экспериментальные значения кратковременного и начального модуля упругости, а также характеристической прочности при сжатии и временного сопротивления каменных кладок, выполненных из различных видов кладочных материалов.

Таблица 2

Экспериментальные значения характеристической прочности и модуля упругости каменных кладок

№ серии опытных образцов	Нормализованная прочность кирпича f_b (МПа)	Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Характеристическая прочность при сжатии f_k (МПа)	Временное сопротивление при сжатии f (МПа)	Кратковременный модуль упругости при сжатии [2] E (МПа)	Начальный модуль упругости при сжатии [1] E_0 (МПа)
КРО-1	44,1	10,9	12,4	14,9	12900	22000
КРО-2	44,1	7,9	11,9	14,3	11000	17330
КРО-3	44,1	3,1	7,6	9,1	7500	10000
КРПУ-1	18,4	10,9	9,4	11,3	7600	8500
КРПУ-2	18,4	7,9	5,7	6,8	6000	6500
КРПУ-3	18,4	3,1	4,4	5,3	5200	5300
СУР-1	22,8	10,9	8,1	9,7	7700	8300
СУР-2	22,8	7,9	7,7	9,2	6000	6500
СУР-3	22,8	3,1	5,0	6,0	4900	5500

Графическая интерпретация полученных результатов показана на рисунке 2.

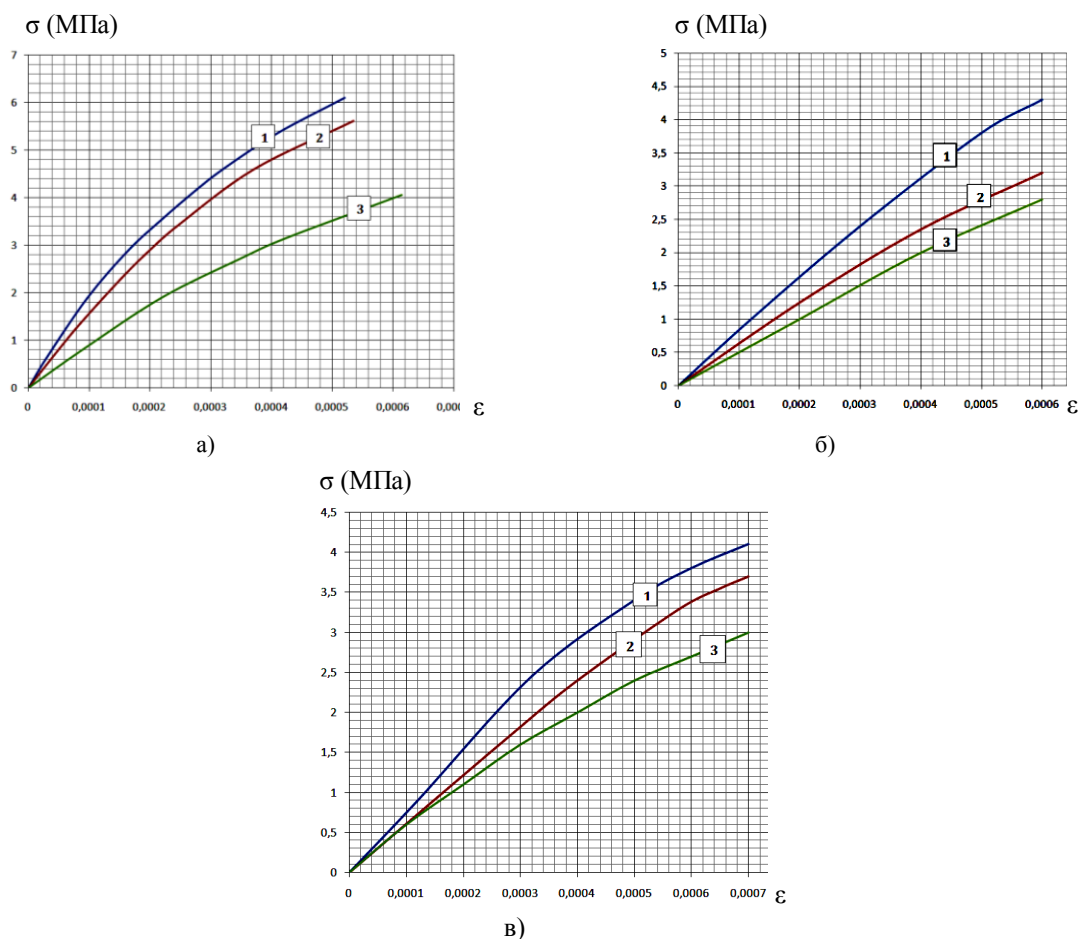


Рис. 3. Зависимости « $\sigma - \epsilon$ » образцов серии КРО (а), серии КРПУ (б), серии СУР (в):
1 – при прочности раствора 10,9 МПа; 2 – при прочности раствора 7,9 МПа; 3 – при прочности раствора 3,1 МПа

Значение коэффициента $K_E = \frac{E}{f_k}$ и упругой характеристики $\alpha = \frac{E_0}{f}$ приведено в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициента K_E и упругой характеристики α
по результатам экспериментальных исследований

№ серии опытных образцов	Характеристическая прочность при сжатии f_k (МПа)	Временное сопротивление при сжатии f (МПа)	Кратковременный модуль упругости при сжатии [2] E (МПа)	Начальный мо- дуль упругости при сжатии [1] E_0 (МПа)	$K_E = \frac{E}{f_k}$	$\alpha = \frac{E_0}{f}$
КРО-1	12,4	14,9	12900	22000	1040	1460
КРО-2	11,9	14,3	11000	17330	920	1210
КРО-3	7,6	9,1	7500	10000	980	1100
КРПУ-1	9,4	11,3	7600	8500	810	750
КРПУ-2	5,7	6,8	6000	6500	1052	950
КРПУ-3	4,4	5,3	5200	5300	1180	990
СУР-1	8,1	9,7	7700	8300	950	850
СУР-2	7,7	9,2	6000	6500	780	700
СУР-3	5,0	6,0	4900	5500	980	920

Из таблицы 3 следует, что коэффициент K_E для каменных кладок, выполненных из кладочных элементов I группы на растворе общего назначения, находится в пределах 780 – 1180. Для кладок из керамического полнотелого и пустотного кирпича коэффициент K_E был практически одинаков. Упругая характеристика α для кладки из полнотелого кирпича оказалась выше, чем для кладки из пустотного кирпича в 1,1 – 1,9 раза и в 1,1 – 1,4 раза выше значения упругой характеристики согласно требованиям [1].

Для кладки из силикатного кирпича K_E находился в пределах 780 – 980, что выше значений упругой характеристики α в 1,06 – 1,2 раза. Полученные экспериментально значения упругой характеристики кладки α для силикатного кирпича близки к значениям упругой характеристики, установленной в [1].

На основании проведенных исследований можно сделать следующее **закключение**: при аналитическом определении кратковременного модуля упругости каменной кладки на растворе общего назначения по зависимости (2) [2] значение коэффициента K_E следует принимать равным рекомендуемому в [2] $K_E = 1000$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81* / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
2. Проектирование каменных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций: СТБ EN/1996-1-1-2008. – Введ. 31.10.08. – Минск: Госстандарт. – 127 с.
3. Методы испытаний каменной кладки. Ч. 1. Определение прочности при сжатии: EN 1052-1. – Введ. 07.10.1998. – CEN/TC 125. – 10 с.
4. Методы испытаний строительных блоков. Ч. 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 772-1-2008. – Введ. 01.01.09. – Минск: Госстандарт. – 9 с.
5. Методы испытаний строительных растворов для каменной кладки. Ч. 11. Определение прочности затвердевшего строительного раствора при изгибе и при сжатии: EN 1015-11. – Введ. 07.08.1999. – CEN/TC 125. – 18 с.

Поступила 17.11.2010

RESEARCH OF THE MODULE OF ELASTICITY OF A STONE LAYING FROM CERAMIC AND SILICATE MASONRIES ELEMENTS

V. DERKACH, A. HALALIUK

The Article contains results of experimental definition of the short-term and initial module of elasticity of a stone laying from a ceramic and silicate brick at various strength factors of masonry mortar. Offers by analytical calculation of the short-term module of elasticity, for inclusion in the national appendix to СТБ EN 1996-1-1-2008 are given.